

Agricultura y cambio climático*

José Albiac Murillo^(a), Mohamed Taher Kabil^(a) y Encarna Esteban Gracia^(b)

^(a)Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria, Gobierno de Aragón

^(b)Universidad de Zaragoza

1. Introducción

El cambio climático constituye un gran desafío para la sostenibilidad de la agricultura en las próximas décadas. Este desafío se presenta en un periodo especialmente crítico, porque la demanda global de alimentos va a duplicarse en 2050 como consecuencia del crecimiento de la población y la renta mundiales.

La amenaza del cambio climático sobre los sectores agrícola, ganadero y forestal en España es importante por sus efectos sobre el aumento de temperaturas, el cambio de régimen de precipitaciones, la mayor frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos, y los daños de las enfermedades y plagas en las especies agrícolas, ganaderas y forestales. Las pérdidas del cambio climático no solo afectan a la producción agrícola y ganadera, sino también al medio natural y a los ecosistemas. La diversidad de clima, orografía y suelos en España es el soporte de una gran biodiversidad, que supone más de la mitad de las especies localizadas en territorio europeo¹. Las proyecciones de cambio climático a final del siglo XXI indican un movimiento de los hábitats de las plantas de varios cientos de kilómetros hacia el norte, y del peligro de extinción de buena parte de las especies de vegetación de montaña.

El propósito de este capítulo es introducir los distintos aspectos del debate del cambio climático, en especial en lo que se refiere a la sostenibilidad de la agricultura en España. Se pretende realizar una evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero, así como de las políticas y medidas de mitigación de estas emisiones, y de las políticas de adaptación al cambio climático, con una atención particular a la adaptación de los recursos hídricos, que es un asunto clave para la sostenibilidad de la agricultura en España.

* Este trabajo se ha llevado a cabo con el apoyo de los proyectos GA-LC-001/2010 Gobierno de Aragón-La Caixa e INIA RTA2010-00109-C04-01.

¹ España posee el mayor número de especies de vertebrados (600) y plantas vasculares (8.000), y alberga un tercio de todas las especies endémicas en Europa.

Los impactos del cambio climático sobre la sociedad humana y el medio ambiente han sido objeto de amplios debates durante las últimas décadas. El efecto invernadero es consecuencia de la energía solar que absorben los gases de efecto invernadero, y que permite mantener un equilibrio térmico adecuado para la vida en la tierra. Los principales gases de efecto invernadero (GEI) son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), el ozono (O_3), y los gases fluorados. El aumento de la concentración en la atmósfera de los gases de efecto invernadero por las actividades humanas ha llevado al aumento de la absorción de energía solar y al calentamiento de la tierra (Terceiro, 2008)². La percepción de las amenazas del cambio climático ha llevado a la introducción progresiva de políticas de cambio climático, tanto en Europa como en otros países, pero los efectos prácticos de estas políticas han sido limitados hasta ahora. A pesar de la creciente preocupación sobre los efectos del cambio climático, las emisiones globales continúan aumentando y no se ha conseguido llegar a acuerdos vinculantes de reducción de emisiones entre China, Estados Unidos, Unión Europea e India, que son los principales países emisores.

El aumento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) es el factor determinante del cambio climático actual y proyectado en la Tierra (Houghton, 2001). Las emisiones antropogénicas globales de GEI han aumentado un 70 % entre 1970 y 2004, debido sobre todo al uso de combustibles fósiles, pero también a los cambios en el uso de la tierra y a la intensificación de la agricultura (IPCC, 2007a). El informe Stern estima los daños del impacto del cambio climático en el 5 % anual del PIB mundial, frente a una estimación de los costes de las políticas de mitigación del 1 % anual (Stern, 2007). Por el contrario Nordhaus (2008) considera que los daños no justifican los costes de las políticas de mitigación. Estas recomendaciones contrapuestas no son consecuencia de los modelos que utilizan ambos autores y de los impactos estimados, sino del tamaño de la tasa de descuento. Nordhaus utiliza una tasa de descuento más elevada que reduce el valor presente de los daños que ocurren en décadas futuras, en relación a los costes de mitigación a realizar en el presente. Stern utiliza una tasa de descuento menor, que justifica los costes de mitigación presentes en relación a los daños futuros.

La agricultura, la ganadería y los bosques son sectores clave en el estudio del cambio climático, porque son la fuente de la alimentación humana y por su interdependencia con la conservación del medio ambiente y la protección

² Terceiro (2008) realiza una breve presentación de los debates sobre el cambio climático, describiendo la evidencia empírica y científica, y los instrumentos de regulación.

de los ecosistemas naturales. Numerosos estudios científicos señalan unos efectos negativos importantes del cambio climático sobre estos sectores, con especial énfasis en las regiones áridas y semiáridas del mundo. En el hemisferio norte, las condiciones de clima apropiadas para el cultivo se desplazarán hacia el norte, con una mayor frecuencia y severidad de sequías en las regiones meridionales. Las proyecciones de cambio climático para final de siglo indican que en las zonas áridas y semiáridas del sur de Europa y del resto de países de la cuenca mediterránea, habrá una reducción importante de disponibilidad de agua y un fuerte aumento de las extracciones, pérdidas de producción agraria por la caída de la productividad de los cultivos, y daños significativos sobre los ecosistemas (FAO, 2011).

Se prevé que el cambio climático genere un aumento en las temperaturas y una modificación en el patrón de precipitaciones. Estos efectos reducirán los rendimientos de los cultivos tanto en secano como en regadío, mientras que la producción ganadera soportará pérdidas de productividad y aumentos de costes ante los cambios prolongados o extremos de temperatura. Estos efectos negativos sobre los cultivos y la ganadería serán especialmente significativos en la segunda mitad del siglo si se cumplen los escenarios más probables de cambio climático.

Los procesos biológicos de crecimiento y la productividad de las plantas y animales se verán afectados por la modificación de factores de estrés como las malas hierbas, las enfermedades de las plantas y animales, y las plagas de insectos, así como los cambios en los periodos de desarrollo y polinización. El cambio climático afectará a los ecosistemas naturales que desempeñan importantes funciones en la conservación de la calidad del suelo, y en la regulación de la cantidad y calidad de los recursos hídricos. Por otra parte los cambios en el régimen de precipitaciones y la aparición de precipitaciones extremas, tendrán efectos negativos sobre los recursos hídricos disponibles y sobre la erosión de los suelos (USDA, 2012).

Esta problemática general del cambio climático es consecuencia de las emisiones de GEI de los distintos sectores de actividad económica. La generación de electricidad, la industria y el transporte generan más de la mitad de las emisiones de gases, en especial CO_2 . La agricultura también es una fuente importante de emisiones GEI, y es la principal fuente de emisiones distintas al CO_2 , como metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). Las fuentes de estas emisiones son las grandes instalaciones ganaderas de producción intensiva (CH_4) y la fertilización nitrogenada en los suelos de cultivo (N_2O). La agricultura

supone un 14 % de las emisiones antropogénicas de GEI (IPCC, 2007a), pero es también una fuente de alternativas de bajo coste para mitigar el cambio climático, mediante el uso de buenas prácticas agrícolas que reduzcan las emisiones GEI, y con el manejo adecuado de los bosques, la vegetación y los suelos como sumideros de carbono.

El objetivo de este capítulo es describir los efectos del cambio climático en el sector agrario español, a partir de la información disponible. En el capítulo se presentan algunas de las posibles medidas de mitigación y adaptación a las nuevas circunstancias y retos que plantea el cambio climático en la agricultura. Además, se revisan las iniciativas políticas más importantes que han surgido en Europa y en España para frenar los efectos negativos del cambio climático en la agricultura, y los resultados obtenidos hasta el momento.

Con este propósito, el capítulo está organizado de la siguiente manera. En el apartado siguiente se enumeran algunas de las políticas más importantes de la Unión Europea y de España frente al cambio climático en el sector agrario. El apartado 3 resume algunas de las principales medidas de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático en la agricultura. En el apartado 4 se analiza el impacto del cambio climático en los recursos hídricos, recurso clave en la agricultura española. En la sección 5 se analizan medidas para la adaptación de los recursos hídricos a las nuevas perspectivas de escasez de agua, sequía y cambio climático. Finalmente en el apartado 6 se enumeran las principales conclusiones del capítulo.

2. Regulaciones sobre el cambio climático y su incidencia sobre el sector agrario

Las proyecciones de cambio climático a final de siglo para España indican aumentos de la temperatura en 4 °C y de la evapotranspiración en un 21 %, mientras que las precipitaciones disminuyen cerca del 20 %. Estos cambios provocarían la reducción de los rendimientos de los cultivos, el aumento de las necesidades de riego, y la intensificación en la difusión de enfermedades de las plantas y del ganado (CEDEX, 2010). La escasez de agua empeora en la mayoría de las cuencas españolas, con caídas de hasta el 40 % en la disponibilidad de agua de algunas cuencas, y el incremento en un orden de magnitud de la recurrencia de las sequías (Lehner *et al.*, 2005; Iglesias, 2009).

En España, las emisiones GEI de la agricultura alcanzan los 40 millones de t CO₂eq, lo que representa el 11 % de las emisiones antropogénicas. La mitad de las emisiones GEI agrarias provienen de la ganadería y la otra mitad de la fertilización de suelos. Del total de emisiones, una tercera parte son emisiones de metano de la fermentación entérica del ganado una quinta parte son emisiones de óxido nitroso y metano del manejo y almacenamiento del estiércol ganadero, y casi la mitad son emisiones de óxido nitroso de la fertilización de suelos (MAGRAMA, 2012). La utilización de la tierra, los cambios de uso de la tierra, y los bosques (LULUCF) pueden llegar a mejorar el balance de emisiones en unos 29 millones de t CO₂eq, con la ayuda de medidas de reducción de emisiones y de fijación de carbono (MARM, 2011).

La Unión Europea se comprometió en el Protocolo de Kioto a reducir un 8 % sus emisiones GEI en 2012. Los países miembros han tenido que limitar o reducir sus emisiones en los sectores regulados por el mecanismo de comercio de emisiones, aunque se permite aumentar el balance de emisiones a través de los mecanismos de flexibilización y de las actividades de uso de la tierra y bosques (EEA, 2010). El límite conjunto para toda la economía y el límite de los sectores regulados han servido para limitar de forma indirecta los sectores difusos no cubiertos por el comercio de emisiones, como la agricultura y el transporte. Como consecuencia de estos límites indirectos de los sectores difusos, el gobierno de España ha tenido que gastar 800 millones de euros en la compra de 260 millones de toneladas para cubrir el exceso de emisiones de los sectores difusos entre 2008 y 2012.

En los acuerdos internacionales no existen compromisos de reducción de las emisiones de la agricultura, y las políticas nacionales se han centrado en las emisiones puntuales de los sectores regulados (energía e industria), porque las emisiones difusas de la agricultura son mucho más difíciles de controlar. La estrategia de cambio climático de la Unión Europea plantea reducir un 20 % las emisiones entre 2005 y 2020, con un objetivo de reducción del 21 % para los sectores regulados con comercio de emisiones, y del 10 % para los sectores difusos (EEA, 2012). El porcentaje de reducción de los sectores difusos varía por país, y para España se ha fijado en el 10 %.

Las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático se están incluyendo en las políticas agrarias y medioambientales europeas. Se pretende disponer de instrumentos para reducir las emisiones de origen agrario sin perjudicar la viabilidad económica de las actividades de producción. Estas

políticas agrarias y medioambientales son básicamente la Política Agraria Común (o Política Agrícola Común en terminología comunitaria), la Directiva de Prevención y Control Integrados de la Contaminación, la Directiva Marco del Agua, y la Directiva de Nitratos.

La *Política Agraria Común* (PAC) determina la evolución de la agricultura europea, y sus últimas reformas pretenden promover la sostenibilidad de la agricultura, la protección del medio ambiente, y la mejora de las condiciones de salud y bienestar animal. Los principales cambios para la protección del medio ambiente y la mitigación del cambio climático son los programas agroambientales, los pagos desacoplados y la condicionalidad, la modulación obligatoria, y el establecimiento de sistemas de asesoramiento a las explotaciones. A partir de 2014, la PAC va a incluir medidas específicas para aprovechar el potencial de la agricultura en la mitigación de emisiones y en la adaptación al cambio climático (EC, 2009 y 2010). A este respecto se remite al lector interesado al Capítulo 6 de este mismo libro, escrito por Albert Massot.

La *Directiva de Prevención y Control Integrados de la Contaminación* está orientada a reducir las emisiones de origen industrial y agrícola. La directiva incluye las instalaciones de ganadería intensiva de porcino y aves. Las recomendaciones para reducir la contaminación de las instalaciones ganaderas son la incorporación de la mejor tecnología disponible, el uso eficiente de la energía, la fijación de límites de emisiones, y la gestión apropiada del estiércol.

La *Directiva Marco del Agua* pretende alcanzar el buen estado ecológico de todas las masas de agua, mediante la protección de las aguas superficiales y subterráneas, y el uso sostenible del agua. La directiva promueve unos precios del agua cercanos al «coste completo de recuperación», la fijación de límites de emisiones y estándares de calidad de agua, y la gestión participativa de las cuencas. La mejora de la gestión del agua puede tener un efecto positivo sobre las emisiones GEI, y la directiva quiere utilizarse como instrumento clave para la adaptación y mitigación del cambio climático.

La *Directiva de Nitratos* sirve para proteger la calidad del agua evitando que los nitratos de origen agrario contaminen las aguas superficiales y subterráneas. Las principales medidas son la identificación de zonas vulnerables a la contaminación, el diseño e implementación de buenas prácticas agrarias, y el establecimiento de límites de fertilización. La reducción de la contaminación por nitratos sirve también para mitigar las emisiones GEI por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados y los residuos de la ganadería. Las buenas prácticas agrarias como el laboreo de conservación, la rotación de cultivos, y los

cultivos de cubierta en invierno, permiten incrementar la fijación de carbono por los suelos y la vegetación (Smith, 2004).

En España, el gobierno elaboró la estrategia de cambio climático con límites de emisiones para toda la economía en el período 2008-2012 (MARM, 2007). La estrategia establece propuestas para el diseño de medidas de mitigación en cada sector, y promueve la cooperación de los gobiernos regionales y locales en los esfuerzos de mitigación que permitan cumplir los compromisos de emisiones. Los objetivos para el sector agrario consisten en reducir las emisiones GEI de fuentes agrícolas y ganaderas, sin establecer mínimos de reducción, y en incrementar un 2 % la fijación de carbono durante el periodo 2008-2012. Las medidas de mitigación que se plantean son ampliar la información y el conocimiento sobre los procesos de producción, reducir la fertilización nitrogenada, mejorar la gestión de estiércoles, promover la agricultura ecológica y la biodigestión de estiércoles, aumentar la eficiencia energética del regadío, expandir los cultivos energéticos, y renovar la maquinaria agrícola.

3. Medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en la agricultura española

La estimación de las emisiones GEI para la agricultura y la ganadería se basan en la utilización de los factores de emisión por unidad de actividad y la información sobre producción regional (De Cara *et al.*, 2005; Schneider *et al.*, 2007). El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 1996a) suministra información de estos factores para utilizarlos a nivel global, y los países de la Unión Europea utilizan los factores de emisión para elaborar los inventarios de emisiones nacionales que publica la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2010).

Las emisiones GEI del sector agrario en España alcanzan los 40 millones t CO₂eq, lo que representa el 11% de las emisiones totales. Las principales emisiones GEI de origen agrario provienen de las emisiones de metano (CH₄) y de óxido nitroso (N₂O) de la fermentación entérica y del manejo de estiércol. Estas emisiones alcanzan los 20,4 millones t CO₂eq, de los que 12,4 millones corresponden a la fermentación entérica y 8 millones al manejo del estiércol. En segundo lugar están las emisiones de óxido nitroso (N₂O) de los fertilizantes nitrogenados que alcanzan 18,8 millones t CO₂eq, en forma de emisiones di-

rectas de los suelos agrícolas y emisiones indirectas de las pérdidas de nitrógeno por lixiviación y escorrentía.

Las alternativas de mitigación de emisiones de la agricultura y la ganadería dependen de las tecnologías y las prácticas de cultivo y cría del ganado. Las medidas de mitigación que se han propuesto en el manejo de los cultivos son el uso más eficiente de la fertilización nitrogenada, el laboreo de conservación o el no laboreo, la rotación de cultivos, los cultivos cubiertos, la mejora del manejo de los pastizales, la revegetación y reforestación, el control de los incendios forestales, y la restauración de los suelos degradados.

En la ganadería vacuna y ovina, donde se generan las emisiones de metano de la fermentación entérica, las propuestas consisten en la gestión de la alimentación del ganado mediante la modificación de la dieta y el uso de aditivos, así como la sustitución de forrajes por piensos compuestos. En cuanto a la gestión del estiércol de las especies ganaderas, las propuestas consisten en cubrir los depósitos de estiércol, el desecado del estiércol, el tratamiento del estiércol para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno, a la vez que se capturan las emisiones de metano como fuente de energía, y la utilización del estiércol como sustituto del abonado mineral (Smith *et al.*, 2007).

Los problemas más serios ocurren en las zonas de gran concentración de ganadería intensiva, por el coste elevado del transporte del estiércol a zonas distantes como abonado, y porque las plantas de tratamiento no tienen suficiente rentabilidad de mercado. Ambas medidas, el transporte de estiércol y las plantas de tratamiento requieren subvenciones significativas para su funcionamiento.

Las experiencias en la construcción de plantas de tratamiento de purines en la cuenca del Matarraña (valle del Ebro) muestran el problema. Las plantas no pueden funcionar sin subvenciones, ya que el coste de inversión y operación está por encima de los 6 €/m³ de purín, y se ha establecido una tasa de 2,7 €/m³ que los ganaderos no están dispuestos a pagar. La regulación que justifica la construcción de estas plantas de tratamiento de purines es la Directiva de Nitratos, pero los ganaderos solo utilizan las plantas de tratamiento como último recurso, y evitan pagar el elevado coste de la tasa por entregar purín. La solución de utilizar purines como abonado tampoco es rentable económicamente cuando la distancia de la granja supera los 10 kilómetros hasta el campo de abonado (Iguacel *et al.*, 2007). En algunos municipios de la zona del Matarraña se alcanza un excedente de nitrógeno superior a los 400 kg/ha, por lo que también son necesarias subvenciones para el transporte a zonas con déficit de nitrógeno. En todo caso, el tamaño

de las subvenciones indica que es mucho más razonable subvencionar el transporte para abonado, que subvencionar plantas de tratamiento de coste desproporcionado.

No existen trabajos que evalúen las políticas de mitigación de emisiones para el conjunto del sector agrario en España. Sin embargo, sí pueden encontrarse en la literatura trabajos en este sentido a nivel regional. Como ejemplo de los efectos de estas políticas puede citarse el estudio de Kahil y Albiac (2012) del sector agrario de Aragón. En el trabajo se examinan distintos instrumentos de política de cambio climático para reducir las emisiones de 3,5 millones t CO₂eq de la agricultura en Aragón, de los que cerca de 1 millón t CO₂eq proceden de la fertilización de cultivos. Los resultados muestran que la fijación de límites de fertilización, unido a la sustitución del abonado mineral por abonado orgánico de la ganadería, es la mejor medida de mitigación de emisiones. La fijación de límites de fertilización manteniendo el actual abonado mineral reduciría las emisiones, pero continuarían las emisiones de los estiércoles que no se utilizan actualmente como abonado.

La Tabla 1 muestra que el escenario «Límites de fertilización» reduce el abonado de nitrógeno de 110.000 a 88.000 t N (columna «Abonado N») y consigue una reducción de emisiones directas e indirectas cercana a los 0,3 millones t CO₂eq (reducción agregada de las columnas «Emisiones N₂O» y «Lixiviado N»). Además el 80 % de este abonado está disponible en forma de excedentes de estiércol (Orús, 2006), que podría sustituir al abonado mineral para conseguir una reducción adicional de las emisiones de la ganadería. Pero como se ha señalado anteriormente, el coste de transporte solo permite la rentabilidad de mercado del abonado orgánico a muy corta distancia.

También se observa que subir los precios del agua y del nitrógeno mediante impuestos (escenarios «Impuesto nitrógeno» e «Impuesto agua») no consigue mejorar el bienestar de la sociedad, ya que los impuestos solamente logran una reducción moderada de las emisiones a un coste desproporcionado para los agricultores en términos de su renta.

El estudio muestra la importancia de la modernización de regadíos (escenario «Modernización de regadíos») para la mitigación de las emisiones con un potencial de reducción de 0,2 millones t CO₂eq (reducción agregada de las columnas «Emisiones N₂O» y «Lixiviado N»). El escenario «Impuesto sobre emisiones» es el escenario de máximo bienestar, pero es un escenario que no puede implementarse por la enorme dificultad que supone el control de las emisiones difusas de los agricultores.

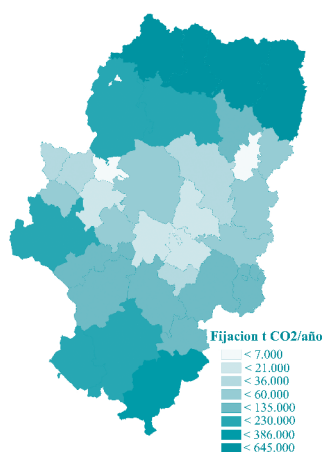
Tabla 1. Escenarios de mitigación en la agricultura de Aragón

Escenarios	Bienestar (10 ⁶ €)	Renta (10 ⁶ €)	Daño (10 ⁶ €)	Abonado N (10 ³ t)	Agua de riego (hm ³)	Lixiviado N (10 ³ t)	Emisiones N ₂ O (10 ³ t CO ₂)	Superficie cultivada (10 ³ ha)
Base	227	278	50	110	2.190	23	912	1.062
Impuesto sobre emisiones	281	239	42	93	1.750	17	743	977
Límites de fertilización	262	300	39	88	2.190	18	719	1.062
Impuesto nitrógeno: $\tau_n=0,5$ €/kg	227	225	42	89	1.970	19	744	881
Impuesto nitrógeno: $\tau_n=1$ €/kg	228	182	38	81	1.870	18	675	800
Impuesto agua: $\tau_a=0,025$ €/m ³	225	226	49	107	2.140	23	888	1.042
Impuesto agua: $\tau_a=0,05$ €/m ³	217	180	36	83	1.550	17	676	876
Modernización de regadíos	238	281	44	93	2.000	21	773	867

Fuente: Kahil y Albiac (2012).

Otro resultado a destacar del estudio es la importancia de los bosques en Aragón como sumideros de carbono. La superficie forestal en Aragón supera el millón y medio de hectáreas, y las principales zonas de bosques se sitúan en comarcas con rentas agrícolas bajas y actividades extensivas como Gúdar-Javalambre, Ribagorza y Sobrarbe (Mapa 1). La cantidad de carbono fijado por los bosques en Aragón se estima en unos 3,4 millones t CO₂/año (Gobierno de Aragón, 2008). Un manejo de los bosques orientado a la captura de carbono permitiría aumentar la fijación de carbono en 0,7 millones t CO₂eq.

Mapa 1. Fijación de carbono por los bosques de Aragón (t CO₂/año)



Fuente: Kahil *et al.* (2013).

4. Impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos

El Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2007a) indica que los impactos negativos del cambio climático en el sur de Europa serán importantes, con aumentos sustanciales de temperatura y una mayor frecuencia de sequías. El agua disponible para las demandas consuntivas se reducirá significativamente, y también descenderá el potencial hidroeléctrico. Los cultivos en regadío necesitarán utilizar más agua, mientras que disminuirá el rendimiento de los cultivos en secano. Otros efectos serán la caída del turismo en la época estival, el aumento de los riesgos para la salud por las olas de calor, nuevos vectores de enfermedades y una mayor probabilidad de incendios.

En España, las predicciones para final de siglo indican una reducción significativa de las precipitaciones, una intensificación de la frecuencia y severidad de los fenómenos extremos de sequías e inundaciones, una fuerte caída en la disponibilidad de los recursos hídricos en las zonas de mayor aridez, un empeoramiento de la calidad del agua, así como una disminución en las reservas tanto de los pantanos como de los acuíferos³. Por otra parte, los suelos perderán humedad con efectos negativos en la vegetación, que supondrán

³ Escenario A1B del *Summary for Policy Makers* (IPCC, 2007b). Como se ha señalado anteriormente, las reducciones de precipitaciones y recursos hídricos disponibles alcanzan el 20 % y el 40 %, respectivamente.

una mayor vulnerabilidad de los bosques y cultivos ante plagas y enfermedades, y cambios en la distribución espacial de los cultivos, la ganadería y los ecosistemas naturales. En las zonas de mayor aridez, los ecosistemas naturales experimentarán una degradación significativa.

En las últimas décadas, la escasez de agua se ha convertido en un problema serio en la mayoría de las cuencas de las regiones áridas y semiáridas. La escasez en estas cuencas se inició con las grandes extracciones de agua superficial para la agricultura, pero el problema se ha agravado por el enorme desarrollo del aprovechamiento de las aguas subterráneas con pozos individuales como consecuencia de la caída de costes en la adopción de tecnologías de bombeo⁴. La creciente escasez de agua por las extracciones excesivas de aguas superficiales y subterráneas muestra que las dificultades de gestión de los recursos hídricos son comunes en todas las regiones. Esta mala gestión se explica porque el agua es fundamentalmente un bien comunal con externalidades ambientales, y una gestión más sostenible requiere de la cooperación de los grupos de interés a través de un marco institucional adecuado.

El efecto del cambio climático en las regiones áridas y semiáridas va a ser sustancial porque se añadirá a la situación actual de escasez de agua. La magnitud de los impactos se puede deducir de las sequías recientes en Australia, Estados Unidos, China y África, con daños importantes sobre la agricultura, los sectores urbanos e industriales, el turismo, y el medio natural y los ecosistemas. Los costes de los daños de las sequías son considerables con un rango de estimaciones entre 1.500-5.000 millones de euros anuales en Estados Unidos, y de unos 3.300 millones de euros anuales en la Unión Europea⁵. Estos costes representan entre el 0,05-0,10 % del producto interior bruto, aunque el coste de las sequías puede ser excepcionalmente elevado en algunos años, como en Australia donde se alcanzó el 1 % del PIB en la última sequía.

En los países del sur de Europa, como España, la escasez de agua y las sequías son problemas importantes y recurrentes. Estas cuestiones no han conseguido una gran prioridad en las políticas europeas, y solo han merecido la elaboración de una «Comunicación sobre Escasez de Agua y Sequías» (EC, 2007). La Comunicación es una mera declaración de intenciones que no es legalmente vinculante, sin el rango de directiva que tienen las inundaciones.

⁴ El problema es serio como revela la sobreexplotación de 50 km³/año en la región del Indus, Ganges y Bramaputra (Tiwarei *et al.*, 2009), y la sobreexplotación de 13 km³/año en de la región del Tigris y Eufrates (Voss *et al.*, 2013).

⁵ En Estados Unidos, las estimaciones de costes de la NOAA (2008) son de unos 1.000-2.000 millones de dólares anuales, donde solo se incluyen daños de cosechas y de propiedades, mientras que los costes estimados por FEMA (1995) son de unos 6.000-8.000 millones de dólares anuales, donde se incluyen todos los sectores. En Europa, los costes estimados por la Comisión Europea son de unos 3.300 millones de euros anuales (EC, 2007).

Tabla 2. Extracciones de agua por sector (hm³)

Año	1960	1990	2009
Regadío	12.800	23.000	25.000
Urbana e industrial	2.700	5.800	7.000
Total	15.500	28.800	32.000

Fuente: INE (2010), MIMAM (2000) y MOPT (1993).

A pesar de ello, la escasez de agua, las sequías y los fuertes impactos que puede tener el cambio climático son temas importantes para España, como muestra la puesta en marcha de los planes de sequía en 2007. A continuación se discuten las respuestas y la adaptación a la escasez y las sequías que se han dado en España como ejemplos para poder evaluar las políticas de adaptación de los recursos hídricos al cambio climático.

5. Políticas de adaptación de los recursos hídricos a la escasez, las sequías y el cambio climático

La escasez y la degradación de la calidad del agua en España son consecuencia de la creciente presión de las actividades económicas durante los últimos cincuenta años. La escasez de agua está ligada a la enorme expansión del regadío, mientras que la degradación de la calidad está sobre todo vinculada a los sectores urbano e industrial, y en menor medida a la agricultura. Las extracciones de agua para usos consuntivos han pasado de 15.500 a 32.500 hm³ anuales entre 1960 y la actualidad, como consecuencia de la expansión del regadío de 1,8 a 3,5 millones de hectáreas, y del crecimiento de la demanda urbana e industrial (Tabla 2).

Los principales problemas de escasez de agua están localizados en las cuencas del sur y este peninsular, con producciones muy rentables de hortalizas y frutales cultivadas bajo sistemas de producción intensiva. En otras cuencas de la España interior, las producciones en regadío son menos rentables y se cultivan con técnicas de producción extensivas. Los problemas de escasez de agua están ligados al potente desarrollo de la extracción de acuíferos en las últimas décadas en las cuencas del Júcar, Segura, Sur y Guadiana, y más recientemente en el Guadalquivir.

En la confederación del *Júcar*, el regadío se expandió de 120.000 a 350.000 ha entre 1970 y 1995, en su mayoría a partir de aguas subterráneas. Actualmente, la demanda de riego es de unos 2.550 hm³ anuales sobre una demanda total de unos 3.300 hm³, que se cubre con 1.600 hm³ de agua superficial y 1.700 hm³ de agua subterránea. Los recursos renovables alcanzan unos 3.700 hm³ anuales y están ligeramente por encima de las extracciones.

En la cuenca del *Segura*, el regadío se expandió de 130.000 a 270.000 ha entre 1970 y 1995, creando una fuerte presión sobre los recursos hídricos. Los recursos renovables alcanzan los 800 hm³ al año, a los que se añaden 300 hm³ del trasvase Tajo-Segura. El total está muy por debajo de las extracciones actuales de 1.400 hm³ anuales, por lo que hay una fuerte sobreexplotación de los acuíferos. En la cuenca *Sur*, la sobreexplotación de acuíferos es consecuencia de la expansión desde 1970 de los cultivos en invernadero, que han alcanzado las 40.000 ha.

En el alto *Guadiana* ha habido una mala gestión de acuíferos en los últimos treinta años, que ha llevado a la desaparición de los sistemas de tablas del río y de 80 kilómetros de su curso. La expansión del regadío se inició en los años ochenta, alcanzando las 150.000 ha en 1990 y 260.000 ha en 2005. Los daños sobre los ecosistemas acuáticos son importantes, e incluyen el Parque Natural de las Tablas de Daimiel. Finalmente, la expansión más reciente de extracciones descontroladas ha ocurrido en la cuenca del *Guadalquivir*. Las extracciones eran de 3.400 hm³ en 1995, lo que ya suponía una presión significativa sobre unos recursos renovables de 6.800 hm³ anuales. En los últimos quince años, el regadío se ha expandido de 480.000 a 800.000 ha con extracciones de agua subterránea que han pasado de 300 a 900 hm³ anuales, en su mayoría ilegales. Las extracciones en la actualidad alcanzan los 4.100 hm³, de los que 3.500 hm³ cubren el regadío y 600 hm³ la demanda urbana e industrial. Durante los años secos, las extracciones subterráneas para riego reducen considerablemente el agua superficial disponible. El resultado es un caudal muy bajo en los ríos que solo permite cubrir la demanda urbana e industrial que es prioritaria, mientras que se producen fuertes ajustes en el regadío con agua superficial y en los caudales ecológicos que mantienen a los ecosistemas. El ecosistema más importante de la cuenca es Doñana, el principal humedal de la península ibérica, que se encuentra amenazado por la sobreexplotación del regadío que lo rodea.

El progresivo empeoramiento de la escasez de agua en la mayoría de las cuencas españolas es un factor preocupante ante las perspectivas de cambio

climático, que harán aumentar la frecuencia e intensidad de las sequías. El impacto negativo de las sequías tenderá a aumentar en términos económicos y medioambientales, y su magnitud dependerá de las medidas de adaptación que se logren poner en marcha. Los tres últimos periodos de sequía de 1980-83, 1991-95 y 2005-08 tuvieron unos impactos negativos similares sobre los ecosistemas: gran disminución de la producción agraria, aumento masivo de perforación de pozos en los acuíferos, y caída alarmante de la capa freática en los principales sistemas de acuíferos.

La respuesta de las autoridades de cuenca a las sequías, bajo estas condiciones de mayor escasez, ha consistido en una elaboración más sofisticada y compleja de las respuestas y de las medidas de adaptación. La sequía de 1991-95 llegó a provocar una reducción media del 15 % en las precipitaciones y del 28 % en los caudales, aunque la reducción en algunas cuencas como el Guadiana y el Guadalquivir alcanzó el 30 % de las precipitaciones y el 70% de los caudales. Durante la sequía de 2005-2008, el gobierno encargó a las autoridades de cuenca la elaboración de los *planes de sequía* que fueron aprobados en 2007. Los planes de sequía se basan en un sistema de indicadores hidrológicos, y cada autoridad de cuenca prepara un plan de sequía que incluye las reglas de gestión para cada sistema de explotación y las medidas a tomar en el dominio público hidráulico. Las administraciones públicas responsables del abastecimiento urbano elaboran planes de emergencia de abastecimiento en coordinación con las reglas y medidas del plan de sequía de la cuenca.

Los costes y la escala de las medidas de sequía dependen de las perspectivas de escasez en las cuencas, ya que el grado de escasez determina la complejidad y el coste de las medidas. La cuestión fundamental para los responsables de las políticas de agua es si estas políticas serán capaces de frenar o reducir la progresiva escasez de agua en las cuencas, y prevenir los efectos del cambio climático. La respuesta va a determinar si las cuencas se convierten en sistemas hidrológicos cerrados que aceleren la degradación de los recursos hídricos y el daño a los ecosistemas, creando además cada vez más dificultades para las actividades humanas.

Las políticas de adaptación de los recursos hídricos al cambio climático siguen dos enfoques contrapuestos, derivados de la organización institucional y las políticas de gestión del agua que se han desarrollado en los distintos países. El primer enfoque se basa en la primacía de los *instrumentos económicos*, y el segundo en la primacía de los *instrumentos institucionales*.

Un ejemplo del primer enfoque es Australia, que ha introducido los mercados de agua como mecanismo de asignación de la escasez de agua, y estos mercados tienen una función clave durante los periodos de sequía. La cuenca del Murray-Darling es actualmente el mercado de agua más importante del mundo, y su funcionamiento se basa en una definición clara de los derechos de agua de cada usuario, y en la capacidad de hacer cumplir las asignaciones de derechos. Durante los periodos de sequía, la flexibilidad que proporcionan los mercados de agua ha generado importantes beneficios económicos. En el Murray-Darling, la estimación de estos beneficios del mercado de agua alcanzan los 800 millones de euros durante la sequía del año 2007-2008 (Connor, 2013).

Pero un desafío importante para los mercados de agua es el impacto del mercado sobre terceros, lo que incluye los daños a grupos de usuarios de los sectores económicos y los daños a los ecosistemas. Estas externalidades económicas y medioambientales pueden ignorarse, con lo que se consigue reducir los costes de transacción, o bien pueden tenerse en cuenta pero entonces los mayores costes de transacción debilitan los beneficios del mercado de agua. Australia ha preferido ignorar la mayor parte de las externalidades, lo que ha facilitado el funcionamiento de los mercados (Connor, 2013).

Un problema serio de externalidad de los mercados de agua es que los intercambios de agua reducen los caudales en cuenca, ya que se venden derechos disponibles que no se utilizaban con lo que aumentan las extracciones, y también porque se producen aumentos de eficiencia del regadío en parcela que reducen los retornos a cuenca. La utilización de los mercados de agua como solución de las sequías o de adaptación al cambio climático supone la reducción del caudal en cuenca, es decir una mayor escasez de agua. Para evitarlo, se podría tener en cuenta el impacto del comercio de agua sobre los caudales ecológicos, y ajustar en consecuencia la asignación de derechos de agua. Otra alternativa sería que el comercio de agua se basará en el consumo de agua (o evapotranspiración en el regadío) en lugar de en el uso de agua (extracciones). El problema es que ambas opciones incrementan los costes de transacción y pueden llegar a impedir las transacciones de agua.

Otro ejemplo de este enfoque basado en instrumentos económicos es California, donde se ha propuesto compensar las reducciones de agua de las sequías y el cambio climático con medidas como los mercados de agua, el almacenamiento de agua y la conservación, la reutilización y la desalación. El estudio de Medellín *et al.* (2013) señala que estas medidas pueden llegar a contrarrestar las fuertes caídas de disponibilidad de recursos hídricos como

consecuencia del cambio climático y las sequías. Los resultados de simulación de su modelo hidroeconómico muestran que la optimización de la asignación, almacenamiento y transporte del agua en el tiempo y en el espacio permite alcanzar una reducción muy significativa de los impactos de las sequías y el cambio climático.

Las estimaciones de este modelo indican que el coste de las sequías en el Valle Central de California alcanza los 1.000 millones de dólares. El modelo también se utiliza para simular los costes de escasez de agua como consecuencia del cambio climático en el futuro, y los resultados muestran que estos mecanismos de asignación pueden reducir los costes de escasez desde 1.600 a solo 120 millones de dólares. Pero este tipo de solución basado en el comercio del agua es difícil de implementar en California como muestra el fracaso del banco de agua en la sequía de 2009, bloqueado por las regiones exportadoras de agua. Los incentivos económicos de los mercados de agua y los procesos judiciales vigentes no son suficientes para garantizar el logro de esta solución óptima, que requiere de instituciones fuertes donde se consiga la cooperación de los grupos de interés.

El caso de España es un ejemplo del segundo tipo de enfoque basado en instrumentos institucionales. La escasez de agua se ha convertido en un problema serio en la mayoría de las cuencas, agravado durante los periodos de sequía. La escasez de agua supone que los impactos potenciales de las sequías y el cambio climático pueden ser mucho más negativos en términos económicos y medioambientales. La respuesta de las autoridades de cuenca ha consistido en una elaboración más sofisticada y compleja de las medidas de respuesta y adaptación.

El tamaño de la agricultura de regadío en España es similar al de California. En España se cultivan 3,4 millones ha con 25.000 hm³ de agua, para generar unos ingresos de los cultivos de 23.000 millones de euros, mientras que en California se cultivan 3,7 millones ha con 41.000 hm³ de agua, para generar unos ingresos de los cultivos de 29.000 millones de euros. Estas grandes extracciones de agua están presionando fuertemente los recursos y provocan daños medioambientales significativos. Las amenazas que se derivan para la seguridad humana de aprovisionamiento de agua se han compensado tanto en España como en California con inversiones que suman miles de millones en tecnologías del agua, en forma de trasvases, almacenamiento de agua y conservación, sistemas de riego avanzados, plantas de tratamiento de aguas residuales, desalación marina, y reutilización. A pesar de estas similitu-

des sobre el tamaño de la agricultura de regadío y de las grandes inversiones en tecnologías de agua, el enfoque de la gestión del agua en España es muy distinto al de California.

La gestión del agua en España se apoya en instrumentos institucionales, mientras que California y Australia se apoyan en el proceso judicial y en instrumentos económicos. La legislación española se modificó para favorecer el desarrollo de los mercados del agua, pero sin mucho éxito por el momento. Las principales organizaciones institucionales en España son las autoridades de cuenca, que gestionan el agua y resuelven los problemas de escasez del agua y las sequías. El aspecto distintivo de esta estructura institucional es la función clave de los grupos de interés dentro de las autoridades de cuenca, con los usuarios involucrados en todos sus organismos de gobierno y gestión. Existen planes de sequía en funcionamiento en todas las cuencas, formados por un sistema de indicadores, un conjunto de reglas de gestión de las sequías específico por junta de explotación en el interior de cada cuenca, y planes de gestión de contingencias en los centros urbanos.

En Australia y California, los mercados de agua se utilizan para reasignar agua hacia usos de mayor rentabilidad económica. Los mercados de agua en Australia han reducido considerablemente las pérdidas económicas derivadas de la fuerte sequía que hubo en los últimos años, y la mitad del agua disponible se llegó a intercambiar en el mercado. En California, el porcentaje de agua intercambiada sobre el total es mucho menor, aunque los resultados de modelización indican el potencial de los mercados para la adaptación de los recursos hídricos al cambio climático y las sequías. En España, la respuesta a las sequías es institucional, con las autoridades de cuenca organizando la acción colectiva de los usuarios en los periodos de fuerte escasez y sequía. La respuesta a la escasez de agua a más largo plazo se planifica mediante políticas de agua que suponen grandes inversiones en tecnologías del agua para garantizar la seguridad del suministro.

Las experiencias de Australia, California y España muestran la existencia de distintos enfoques para la gestión de la escasez de agua y las sequías, y también para la adaptación al cambio climático. Un enfoque es utilizar los mercados de agua y supone manejar el agua como un bien privado, y otro enfoque es la acción colectiva considerando el agua bien comunal. Se pueden conseguir beneficios tanto privados como sociales bajo ambos enfoques, mercados del agua y acción colectiva, y en ambos casos las ganancias de bienestar son consistentes con la teoría económica.

Pero ambos enfoques están también interrelacionados, porque los casos de Australia y California muestran que el buen funcionamiento de los mercados de agua es imposible sin la cooperación de los usuarios a través de un marco institucional apropiado. Las externalidades de los efectos sobre terceros, en especial los impactos medioambientales, hacen necesario un marco institucional que sirva además para reducir los costes de transacción de los mercados del agua. De forma análoga, el enfoque institucional en España puede funcionar mejor utilizando instrumentos económicos bien diseñados, con incentivos que introduzcan mayor flexibilidad en el proceso institucional de toma de decisiones e implementación (Schwabe *et al.*, 2013).

En todo caso, estas experiencias de gestión muestran que tanto el enfoque de mercados de agua como el institucional requieren esfuerzos importantes a través de políticas para que surja la cooperación de los grupos de interés. Sin esta cooperación es imposible alcanzar una gestión más sostenible de los recursos hídricos para resolver los problemas de escasez y sequías, y preparar la adaptación de los recursos hídricos al cambio climático.

6. Conclusiones

El cambio climático es uno de los problemas medioambientales importantes con los que se va a enfrentar la sociedad en las próximas décadas. Los estudios científicos predicen fuertes impactos sobre las actividades humanas y los ecosistemas en las distintas regiones del mundo. El sector agrario es un sector clave en el análisis del cambio climático, porque es la principal fuente de la alimentación humana y por su interdependencia con la conservación del medio ambiente y la protección de los ecosistemas naturales. Las proyecciones de cambio climático para final de siglo indican que en las zonas áridas y semiáridas del sur de Europa como España, habrá impactos negativos sobre los cultivos y la ganadería, una reducción importante de disponibilidad de agua, y daños significativos sobre los ecosistemas.

El aumento de temperaturas y la modificación de las precipitaciones reducirán los rendimientos de los cultivos, mientras que los cambios prolongados o extremos de temperatura provocarán pérdidas de productividad y aumentos de costes en la ganadería. El cambio climático también agudizará los factores de estrés biótico sobre la producción, como crecimiento de las malas hierbas, enfermedades de las plantas y animales, plagas de insectos, y modificación de

los periodos de crecimiento. Pero hay una gran incertidumbre sobre el impacto productivo que tendrán estos factores de estrés en el futuro, porque no se conoce bien la complejidad de sus procesos e interacciones.

La estrategia de cambio climático de la Unión Europea plantea reducir las emisiones de los sectores difusos como el sector agrario en el horizonte 2020, e iniciar la adaptación de la agricultura al cambio climático. Para ello se están introduciendo medidas de mitigación y adaptación en las políticas agrarias y medioambientales europeas, como la Política Agraria Común, la Directiva de Nitratos y la Directiva Marco del Agua.

Conviene señalar que el diseño y la evaluación de estas medidas de control de la contaminación agraria es un proceso complejo, que requiere generar información biofísica y económica fiable sobre las características físicas y estructurales de las explotaciones agrarias, y sobre el manejo agronómico y las tecnologías de producción utilizadas. También es importante tener información detallada sobre los procesos de contaminación, el daño medioambiental de la carga contaminante, el coste del daño, y la dinámica de nutrientes en el suelo (Esteban y Albiac, 2012).

En la contaminación difusa, las medidas diseñadas por las administraciones centrales europea o nacional fracasarán cuando no incorporen los conocimientos específicos de la zona, o cuando carezcan de legitimidad y apoyo locales. La clave es diseñar medidas con mecanismos de implementación y cumplimiento políticamente viables, para que sus costes de transacción sean razonables. La viabilidad política solo se puede conseguir con una organización institucional que favorezca el surgimiento de la acción colectiva mediante la cooperación de los agricultores (Albiac, 2009).

Dos ejemplos de enfoque equivocado en las políticas medioambientales son la Directiva de Nitratos y la Directiva Marco del Agua. La Directiva de Nitratos se inspira en el principio de que quien contamina paga, y en consecuencia establece penalizaciones individuales de incumplimiento. Los resultados de este mecanismo son muy pobres, porque es imposible que el puro instrumento económico (penalización) haga surgir la acción colectiva de los agricultores. La Directiva Marco del Agua establece los precios del agua para conseguir la gestión sostenible del agua, pero ignora que el agua es un bien comunal en regadío y medioambiente, por lo que el instrumento económico (precios del agua) tampoco puede hacer surgir la acción colectiva de los agricultores. El resultado es que la política de precios en regadío tiene serios problemas de costes de transacción y de viabilidad política. Estos problemas

no se han analizado con detalle, pero afectan claramente el funcionamiento de las políticas medioambientales de cambio climático.

Los resultados del análisis de distintas medidas de reducción de emisiones GEI en el Valle del Ebro parecen generalizables al conjunto de la agricultura española. Estos resultados muestran que los impuestos sobre el agua y sobre los fertilizantes tienen un coste desproporcionado, y la mejor medida consiste en establecer límites a la fertilización y sustituir además el abonado mineral por el abonado orgánico. En relación a la gestión del estiércol de la ganadería, las medidas dirigidas a transportar el estiércol para abonado y construir plantas de tratamiento no tienen rentabilidad de mercado y requieren subvenciones, aunque estas subvenciones son mucho menores y más razonables en el caso del transporte de estiércol para abonado.

Una crítica importante a las políticas de cambio climático implementadas hasta la fecha es que se centran únicamente en los sectores regulados industriales y de generación de energía, que son más fáciles de controlar porque sus emisiones son puntuales, mientras que las emisiones del resto de los sectores son difusas. Otra crítica es la poca efectividad de las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático implementadas en el sector agrario, basadas en modificaciones *ad hoc* de políticas anteriores como la PAC y la Directiva de Nitratos. Las políticas actuales también son cuestionables porque no son capaces de potenciar la acción colectiva de los agricultores necesaria para cualquier medida de mitigación o adaptación. Pero este es un problema de difícil solución, como muestra la falta de cooperación de los países para enfrentar el desafío del cambio climático.

Las políticas de agua europeas adolecen del mismo problema, en especial con el agua de riego y los caudales ecológicos, que no son bienes privados sino comunales. El enfoque de los precios del agua es ineficaz para conseguir una mayor sostenibilidad en la gestión del agua, que solo puede alcanzarse mediante un enfoque institucional.

El impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos en España va a ser muy significativo, y en algunas cuencas puede haber caídas del 20 % en las precipitaciones y del 40 % en el caudal de los ríos. La progresiva escasez de agua que está afectando a la mayoría de las cuencas españolas en los últimos decenios es un factor preocupante ante las perspectivas de cambio climático. El cambio climático agudizará la frecuencia e intensidad de las sequías, y sus impactos negativos tenderán a aumentar en términos económicos y medioambientales.

España posee experiencia en la respuesta institucional a las sequías bajo estas condiciones de mayor escasez de los recursos hídricos. A lo largo del tiempo se ha logrado alcanzar una elaboración cada vez más sofisticada y compleja de soluciones y medidas de adaptación, plasmadas en los planes de sequía. Los planes de sequía se basan en un sistema de indicadores hidrológicos, reglas de gestión para cada sistema de explotación, y planes de emergencia que garantizan el abastecimiento urbano.

Pueden distinguirse dos enfoques alternativos en el diseño de las políticas de adaptación de los recursos hídricos al cambio climático. Estos enfoques responden a la organización y las políticas de gestión del agua que predominan en los distintos países, y se basan en dar primacía a los instrumentos económicos, o en dar primacía a los instrumentos institucionales. La gestión del agua en Australia y California sigue el enfoque de los instrumentos económicos utilizando los mercados del agua y apoyándose en el sistema judicial para la resolución de conflictos. La gestión del agua en España sigue el enfoque de los instrumentos institucionales, con los grupos de interés involucrados en los organismos de gobierno y gestión de las autoridades de cuenca, de forma que los usuarios forman parte del proceso de toma de decisiones y de su cumplimiento.

El enfoque de los mercados de agua supone convertir el agua en un bien privado, con la desventaja de que se ignoran las externalidades de los mercados, en particular los impactos negativos medioambientales. Para que los mercados puedan funcionar mejor es imprescindible un marco institucional que permita integrar las externalidades medioambientales y reducir los conflictos jurídicos entre usuarios. El enfoque institucional en España también puede funcionar mejor con la ayuda de instrumentos económicos bien diseñados, que contribuyan a flexibilizar los procesos institucionales de gestión de los recursos hídricos.

Tanto el agua de riego como la contaminación difusa de la agricultura son bienes comunales cuya gestión sostenible requiere de la acción colectiva a través de la cooperación de los agricultores. Esta cuestión afecta claramente al funcionamiento de las políticas medioambientales de cambio climático en la agricultura española. Los responsables de la toma de decisiones han de aprovechar la potente tradición institucional en España, para conseguir que el sector agrario disponga de unas buenas políticas de mitigación y adaptación al cambio climático.

Referencias bibliográficas

- ALBIAC, J. (2009). «Nutrient imbalances: Pollution remains». *Science*, 326(5953): 665b.
- CEDEX, CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS. (2010). *Estudio del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Ficha 1: Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural*. CEDEX. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- CONNOR, J. (2013). «Principles for economically efficient and environmentally sustainable water markets: The Australian experience». En Schwabe K., Albiac, J., Connor, J., Hassan, R. y Meza, L. (Eds.): *Drought in Arid and Semi-Arid Environments: A Multi-Disciplinary and Cross-Country Perspective*. Springer, Dordrecht: 357-374.
- DE CARA, S., HOUZÉ, M. Y JAYET, P. (2005). «Methane and nitrous oxide emissions from agriculture in the EU: A spatial assessment of sources and abatement costs». *Environmental and Resource Economics*, 32: 551-583.
- ESTEBAN, E. Y ALBIAC, J. (2012). «Assessment of nonpoint pollution instruments: The case of Spanish agriculture». *Water Resources Development*, 28(1): 73-88.
- EC, EUROPEAN COMMISSION. (2007). *Communication from the Commission to the European Parliament and the Council, Addressing the challenge of water scarcity and droughts in the European Union* (COM[2007]414). European Commission, Bruselas.
- EC, EUROPEAN COMMISSION. (2009). *The role of European agriculture in climate change mitigation*. Commission Staff Working Document N° 1093. European Commission, Bruselas.
- EC, EUROPEAN COMMISSION. (2010). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The CAP towards 2020: Meeting the food, natural resources and territorial challenges of the future*. European Commission, Bruselas.
- EEA, EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. (2010). *Tracking progress towards Kyoto and 2020 targets in Europe*. EEA Report N° 7/2010. EEA, Copenhagen.

- EEA, EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. (2012). *Greenhouse emissions trends and projections in Europe 2012. Tracking progress towards Kyoto and 2020 targets*. EEA Report N° 6/2012. EEA, Copenhagen.
- FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. (2011). *Climate Change, Water and Food Security*. FAO Water Reports No. 36. FAO, Roma.
- FEMA, FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. (1995). *National Mitigation Strategy: Partnerships for Building Safer Communities*. FEMA, Washington D.C.
- GOBIERNO DE ARAGÓN. (2008). *Informe final del estudio sobre la funcionalidad de la vegetación leñosa de Aragón como sumidero de CO₂*. Unidad de Recursos Forestales. CITA. Gobierno de Aragón, Zaragoza.
- HOUGHTON, J. (2001). «The science of global warming». *Interdisciplinary Science Reviews*, 26(4): 247-257.
- IGLESIAS, A. (2009). «Policy issues related to climate change in Spain». En Dinar A. y Albiac, J. (Eds.): *Policy and strategic behavior in water resource management*. Earthscan, Londres: 225-250.
- IGUACEL, F., YAGÜE, M., ORÚS, F. Y QUÍLEZ, D. (2007). *Estimación de costes de sistemas y equipos de aplicación de purín*. Informaciones Técnicas 178. Centro de Transferencia Agroalimentaria. Departamento de Agricultura y Alimentación. DGA, Zaragoza.
- INE, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. (2010). *Cuentas satélite del agua en España*. INE, Madrid.
- IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (1996). *Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. IPCC, Londres.
- IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (2007A). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Ginebra.
- IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (2007B). *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Summary for Policymakers*. IPCC, Ginebra.
- KAHIL, M. Y ALBIAC, J. (2012). «Instrumentos de política de cambio climático en la agricultura de Aragón». *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 233: 13-42.

- KAHIL, M., TAPIA, J., NOTIVOL, E. Y ALBIAC, J. (2013). «GHG mitigation measures in the agriculture and forestry sectors of Aragon». Comunicación presentada al Segundo Workshop sobre Mitigación de Emisión de Gases de Efecto Invernadero Provenientes del Sector Agroforestal, Zaragoza.
- LEHNER, B., DÖLL, P., ALCAMO, J., HENRICHS, H. Y KASPAR, F. (2005). «Estimating the impacts of global change on food and drought risks in Europe: a continental integrated assessment». *Climatic Change*, 75: 273-299.
- MAGRAMA, MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIOAMBIENTE. (2012). *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero. Edición 2012 (serie 1990-2010). Sumario de resultados*. Secretaría de Estado de Medio Ambiente. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural. MAGRAMA, Madrid.
- MIMAM, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. (2000). *Libro blanco del agua en España*. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Secretaría de Estado de Aguas y Costas. MIMAM, Madrid.
- MARM, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO. (2007). *Estrategia Española de cambio climático y energía limpia horizonte 2007-2012-2020*. MARM, Madrid.
- MARM, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO. (2011). *Balance del nitrógeno en la agricultura Española 2009*. Dirección General de Recursos Agrícolas y Ganaderos. MARM, Madrid.
- MEDELLÍN, J., HOWITT, R. Y LUND, J. (2013). «Modeling Economic-Engineering Responses to Drought: The California Case». En Schwabe K., J. Albiac, J. Connor, R. Hassan y L. Meza (Eds.): *Drought in Arid and Semi-Arid Environments: A Multi-Disciplinary and Cross-Country Perspective*. Springer, Dordrecht: 341-356.
- MOPT, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES. (1993). *Plan Hidrológico Nacional*. Memoria y Anteproyecto de Ley. MOPT, Madrid.
- NOAA, NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. (2008). *Summary of National Hazard Statistics for 2008 in the United States*. NOAA – National Weather Service, Washington D.C.
- NORDHAUS, W. (2008). *A Question of Balance. Weighing the Options on Global Warming Policies*. Yale University Press, New Haven.

- ORÚS, F. (2006). *Fertilización Nitrogenada: Guía de Actualización*. Informaciones Técnicas Nº Extraordinario. Centro de Transferencia Agroalimentaria. Dirección General de Desarrollo Rural. Gobierno de Aragón, Zaragoza.
- SCHWABE, K., ALBIAC, J., CONNOR, J., HASSAN, R. Y MEZA, L. (2013). *Drought in Arid and Semi-Arid Environments: A Multi-Disciplinary and Cross-Country Perspective*. Springer, Dordrecht.
- SCHNEIDER, U., MCCARL, B. Y SCHMID, E. (2007). «Agricultural sector analysis on greenhouse gas mitigation in US agriculture and forestry». *Agricultural Systems*, 94: 128-140.
- SMITH, P. (2004). «Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context». *European Journal of Agronomy*, 20: 229-236.
- SMITH, P., MARTINO, D., CAI, Z., GWARY, D., JANZEN, H., KUMAR, P., MCCARL, B., OGLE, S., O'MARA, F., RICE, C., SCHOLLES, B., SIROTENKO, O., HOWDEN, M., MCALLISTER, T., PAN, G., ROMANENKOV, V., SCHNEIDER, U., TOWPRAYOON, S., WATTENBACH, M. Y SMITH, J. (2007). «Greenhouse gas mitigation in agriculture». *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363: 789-813.
- STERN, N. (2007). *The economics of climate change. The Stern Review*. Cambridge University Press, Cambridge.
- TERCEIRO, J. (2008). «Economía del cambio climático». *Anales de la Real Academia de Ciencias Morales y Políticas*, 85: 547-582.
- TIWARI, V., WAHR, J. Y SWENSON, S. (2009). «Dwindling groundwater resources in northern India, from satellite gravity observations». *Geophysical Research Letters*, 36(18).
- USDA, UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (2012). *Climate Change and Agriculture in the United States: Effects and Adaptation*. Agricultural Research Service. USDA Technical Bulletin 1935. USDA, Washington D.C.
- VOSS, K., FAMIGLIETTI, J., LO, M., DE LINAGE, C., RODELL, M. Y SWENSON, S. (2013). «Groundwater depletion in the middle east from GRACE with implications for transboundary water management in the Tigris-Euphrates-western Iran region». *Water Resources Research*, 49(2): 904-914.

La sostenibilidad de la agricultura española

**José A. Gómez-Limón
Ernest Reig Martínez
(coordinadores)**



La investigación que ha dado lugar a la publicación de este libro ha sido financiada parcialmente por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y el Fondo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del proyecto de investigación del Plan Nacional de I+D+i titulado «Indicadores sintéticos de sostenibilidad: un instrumento para la mejora de la gobernanza del sector agrario» AGRIGOBERSOS, Ref. AGL2010-17560-C02-00, en el que participan las Universidades de Córdoba y Valencia.



La sostenibilidad de la agricultura española

© 2013 del texto: los autores

© 2013 de la edición: Cajamar Caja Rural

Edita: Cajamar Caja Rural

Plaza Barcelona, 5. 04006 ALMERÍA

Teléfono: (+34) 950 210 386

publicaciones@cajamar.com

www.publicacionescajamar.es

ISBN-13: 978-84-95531-56-8

Depósito Legal: AL-XXXX-2013

Diseño y maquetación: Beatriz Martínez Belmonte

Imprime: Escobar Impresores, SL. El Ejido (Almería)

Fecha de publicación: agosto de 2013

Imagen de cubierta: Thinkstock (© Getty Images)

Impreso en España / Printed in Spain

Cajamar Caja Rural no se responsabiliza de la información y opiniones contenidas en esta publicación, siendo responsabilidad exclusiva de sus autores.

© Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, así como la edición de su contenido por medio de cualquier proceso reprográfico o fónico, electrónico o mecánico, especialmente imprenta, fotocopia, microfilm, offset o mimeógrafo, sin la previa autorización escrita de los titulares del Copyright.

PRÓLOGO	9
PRESENTACIÓN	13

Sostenibilidad ambiental y social. ¿Es posible la coexistencia de paradigmas?	
<i>J. M. García Álvarez-Coque</i>	25

PARTE I. INTRODUCCIÓN A LA SOSTENIBILIDAD AGRARIA

I.1. La sostenibilidad de la agricultura actual	
<i>E. Reig Martínez y J. A. Gómez-Limón</i>	37

PARTE II. SOSTENIBILIDAD DE LA AGRICULTURA ESPAÑOLA Y POLÍTICA AGRARIA

II.1. Sostenibilidad económica de la agricultura española	
<i>I. Atance Muñiz</i>	89
II.2. La dimensión social del proceso de ajuste estructural en la agricultura española	
<i>E. Arnalte Alegre, O. M. Moreno Pérez y D. Ortiz Miranda</i>	117
II.3. Sostenibilidad ambiental y ecológica de la agricultura española	
<i>J. J. Oñate Rubalcaba y B. Blanch Martínez</i>	155
II.4. Sostenibilidad agraria, desarrollo rural y cohesión territorial.	
Reflexiones sobre la nueva política agraria, rural y de cohesión en la UE	
<i>F. E. Garrido Fernández y E. Moyano Estrada</i>	203

PARTE III. EL RETO DE LA SOSTENIBILIDAD AGRARIA

III.1. La PAC y la sostenibilidad de la agricultura europea en la era global	
<i>A. Massot Martí</i>	235
III.2. Agricultura y cambio climático	
<i>J. Albiac Murillo, M. Taher Kahil y E. Esteban Gracia</i>	277
III.3. Cultivos modificados genéticamente y sostenibilidad agraria	
<i>L. Riesgo Álvarez y F. J. Areal</i>	303

PARTE IV. NUEVOS MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA EL ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD

IV.1. Evaluación de la sostenibilidad agraria a través de indicadores e índices: el caso de las estepas cerealistas de Castilla y León <i>J. A. Gómez-Limón y E. Reig Martínez</i>	335
IV.2. Métodos de análisis basados en el paradigma de la decisión multicriterio <i>L. Díaz Balteiro y C. Romero López</i>	371
IV.3. Medición de la eco-eficiencia con <i>Análisis Envolvente de Datos</i> . Aplicación al olivar andaluz <i>M. Beltrán Esteve, A. J. Picazo Tadeo, J. A. Gómez-Limón y E. Reig Martínez</i>	403
IV.4. Huella hídrica y gestión del agua en agricultura <i>A. Garrido Colmenero</i>	433

REFLEXIONES FINALES

Una visión particular de este libro <i>D. Uclés Aguilera</i>	461
---	-----

REFERENCIA CURRICULAR DE LOS AUTORES	475
--	-----